"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

ارزیابی ارتباط مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم در شرایط رقابت با علف هرز جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) با استفاده از روش زمین‌آمار

Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) using geostatistical method

عباس نصیری دهسرخی[۱]، احمد قنبری[۲]، حسن مکاریان[۳] و محمدرضا اصغری پور[۴]

چکیده

نصیری دهسرخی، ع.، ا. قنبری، ح. مکاریان و م.ر. اصغری پور. ۱۴۰۲. ارزیابی ارتباط مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم در شرایط رقابت با علف هرز جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) با استفاده از روش زمین‌آمار. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۳): ۲۵۷ -۲۳۳.**

شناخت تغییرات مکانی عملکرد و عوامل مؤثر بر آن، به بهبود مدیریت مزرعه و عملکرد گیاهان زراعی کمک می‌کند. این آزمایش با هدف ارزیابی ارتباط مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد دانه گندم رقم پیشگام در شرایط رقابت با علف هرز جودره در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در شرایط آب و هوایی شهرستان مبارکه استان اصفهان انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت شبکه‌ای با فاصله دو در دو متر انجام شد. در هر نقطه از شبکه، ویژگی‌های خاک، عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز جودره اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی مثبت بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود و در خاک‌های با محتوای رس و پتاسیم پایین، جمعیت انبوه‌تری داشت. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۲۲/۲ و ۳۵۵/۹ و ۲۸٦/٦ گرم در مترمربع با ضریب تغییرات ۱۵/۵ درصد بود نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، اسیدیته، رس و سیلت خاک (به‌ترتیب ۷۵/۰، ۸۳/۲، ۸۳/٦، ۹٤/۱ و ۷۸/٦ درصد در دامنه تأثیر ٦/۱، ۳/۷، ٤/۷، ١٤/٠ و ۳/۲ متر) بود. میزان همبستگی مکانی بین تراکم علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم، ۸٦/۹ درصد و در دامنه تأثیر ١٤/٠ متر بود. براساس نتایج این تحقیق، علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود، درحالی‌که عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، رس، سیلت و اسیدیته خاک داشت، بنابراین در زراعت گندم، مدیریت متناسب با مکان کودی می‌تواند در کنترل علف هرز جودره مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: دامنه تأثیر، علف‌های هرز، کریجینگ، گندم و نقشه عملکرد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰ این مقاله مستخرج از رساله دوره دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانش‌آموخته دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران (مکاتبه‌کننده) (پست الکترونیک: abasnasiri110@yahoo.com)
۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۴- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) using geostatistical method

Nasiri Dehsorkhi, A.[1], A. Ghanbari[2], H. Makarian[3], M. R. Asgharipour[4]

ABSTRACT

Nasiri Dehsorkhi, A., A. Ghanbari, H. Makarian, M. R. Asgharipour. 2023. Spatial relationship between soil properties and wheat grain yield under the conditions of competition with wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) using geostatistical method. **Iranian Journal of Crop Sciences. 25(3): 233-257. (In Persian).**

Introduction: Knowledge of spatial variation in yield as well as the factors that affect it, will improve field management. Geostatistical methods are very effective in identifying and describing the distribution patterns of soil variation in the field. In this regard, this research was conducted to study the spatial relationship of some important physical and chemical properties of soil with bread wheat cv. Pishgam grain yield under the conditions of competition with wild barley using geo-statistical method.

Materials and Methods: In 2019-2020 cropping season, a field experiment was conducted in Isfahan, Iran in the form of a grid system with a distance of 2 × 2 meters. At each grid point, soil properties, bread wheat cv. Pishgam grain yield and wild barley density were measured and recorded. Experimental variograms, model fitting, kriging estimation and drawing maps for different traits were done using GS+ software. To describe the spatial correlation between two variables, a cross-semivariogram was employed. Spearman's correlation coefficients were also calculated using SPSS software (Ver. 16).

Results: The results showed that soil properties in the field varied from one place to another and were seen as patches with different sizes and shapes on the maps. The lowest (1.6%) and the highest (23.7%) of coefficient of variation (CV) for the studied soil properties were related to pH and nitrogen, respectively. The results indicated that the distribution of wild barley was not even or random, but had a patchy or cumulative distribution pattern. The interpolated maps by kriging showed that the weed patches generally tended towards the edges of the field. Wild barley had a strong spatial correlation with nitrogen (N) and phosphoreous (P) of the soil, while this weed was found in soils with low amount of clay and potassium (K). The cross-semivariogram showed that bread wheat cv. Pishgam grain yield had strong spatial correlation with N, K, pH, clay and silt properties of the soil with correlation coefficient of 75.0, 83.2, 83.6, 94.1 and 78.6%, respectively within the distances of 6.1, 3.7, 4.7, 14.0 and 3.2 meters. The results of cross-semivariogram, estimation of Spearman's correlation coefficients and also comparison of maps showed the negative relationship between bread wheat cv. Pishgam grain yield and wild barley density in the field. Spatial correlation between weed density and grain yield was 86.9% within the distance of 14.0 meters.

Conclusion: In general, the results of this research indicated that the spatial variation of soil properties and also weed density caused patchy patterns of bread wheat cv. Pishgam grain yield in the field. Knowledge of the spatial distribution of soil nutrients and weeds density in the field can be useful for site specific management of the breat wheat crop.

Key words: Effect range, Kriging, Yield map, Weeds and Wheat

Received: September, 2023 **Accepted: December, 2023**

1. Former PhD Student, University of Zabol, Zabol, Iran (Corresponding author) (Email: abasnasiri110@yahoo.com)
2. Professor, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Associate Prof., Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
4. Professor, University of Zabol, Zabol, Iran

مقدمه

ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی نشان داده است که در داخل یک مزرعه تغییرات عملکرد از نقطه‌ای به نقطه دیگر بسیار زیاد بوده و معمولاً از سالی به سال دیگر نیز نوسان دارد (Ali *et al.*, 2019; Nyéki *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023). تغییرات عملکرد دانه در یک مزرعه به ویژگی‌هایی مانند ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و توپوگرافی خاک و عوامل مدیریتی مانند مقدار کودهای مصرفی، آبیاری و غیره بستگی دارد (Steiner *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2019) که در بین آنها ویژگی‌های خاک نقش کلیدی دارد (Sidorova *et al.*, 2012). تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک یکی از دلایل اصلی تغییرات مکانی رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (Cui *et al.*, 2017; Hausherr Luder *et al.*, 2018; Nyéki *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023). برای بهبود عملکرد محصول و حفظ سلامت خاک، لازم است که غیریکنواختی خاک در هر مکان شناسایی شود تا بتوان راهبردهای مدیریتی متناسب با مکان عناصر غذایی را برای آن منطقه اجرا کرد. نقشه‌های پراکنش ویژگی‌های خاک می‌توانند به‌عنوان یک راهنما برای مدیریت متناسب با مکان استفاده شود (Gehlot *et al.*, 2023). محققان اظهار داشته‌اند که تجزیه و تحلیل زمین‌آماری، ابزار مفیدی برای تعیین روابط متقابل مکانی عملکرد گیاهان زراعی و ویژگی‌های خاک در مقیاس مزرعه محسوب می‌شود (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایشی که با هدف بررسی ارتباط مکانی بین عملکرد غلات و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد، نتایج کراس سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم دارای همبستگی مکانی بالا و مثبتی با محتوای رس خاک بود (Lipiec and Usowicz, 2018). نتایج یک آزمایش که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه ذرت انجام شد نشان داد که در نقاطی که محتوای رس خاک پایین‌تر بود، عملکرد دانه نیز در همان نقاط روی نقشه‌ها کمتر بود و به‌علاوه همبستگی مثبتی بین عملکرد ذرت و محتوای پتاسیم خاک مشاهده شد (Nyéki *et al.*, 2022). در رابطه با ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی، نتایج کراس واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه ذرت، همبستگی مکانی بالا و منفی با محتوای رس، شن، هدایت الکتریکی و pH خاک داشت. عملکرد لوبیا چشم بلبلی نیز همبستگی مکانی متوسط و منفی با محتوای رس خاک و همبستگی مکانی منفی و بالایی با محتوای سیلت خاک داشت (Awe *et al.*, 2020). در آزمایش دیگری که به‌منظور ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه یولاف انجام شد، گزارش شد که محتوای نیتروژن و ماده آلی خاک همبستگی مکانی مثبتی با عملکرد دانه داشتند و الگوهای تغییر نیتروژن و ماده آلی خاک مشابه با تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه یولاف بود (Hausherr Luder *et al.*, 2018). نقشه‌های پراکنش ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌کنند که می‌توان از آن برای بهبود عملکرد دانه در کشاورزی دقیق استفاده کرد (Karami and Afzalinia, 2018).

علاوه بر ناهمگونی‌های محیط خاک و هم‌چنین غیریکنواختی که در اثر روش‌های مدیریتی در سطح مزرعه به وجود می‌آیند، علف‌های هرز نیز یکی از عوامل ایجاد ناهمگونی عملکرد گیاهان زراعی در سطح مزرعه محسوب می‌شوند (Moradi Kalbolandi, 2020). علف‌های هرز پراکنش یکنواخت و یا تصادفی ندارند و غالباً دارای پراکنش لکه‌ای در مزرعه هستند (Jurado-Expósito *et al.*, 2019; 2021). نتایج یک آزمایش نشان داد که تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز با عملکرد زیستی گندم

همبستگی مکانی منفی ۷۵/۸۹ و ۶۲/۵۰ درصدی و با عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی منفی ۹۱/۹ و ۵۶/۲۵ درصدی داشت (Moradi Kalbolandi, 2020). نتایج یک آزمایش دیگر نیز نشان داد که الگوهای پراکنش جمعیت علف‌های هرز به مقدار قابل توجهی با الگوهای تغییر زیست‌توده گندم منطبق بودند و بین تراکم علف‌های هرز و عملکرد گیاهان زراعی در سطح مزرعه یک رابطه معکوس وجود داشت (Makarian and Hosseini, 2011). در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه پراکنش مکانی عملکرد دانه عدس و تراکم علف‌های هرز نشان داد که اکثر نقاط پر تراکم علف‌های هرز، منطبق بر نقاط با کم محصول‌تر عدس بود (Zargarian *et al*., 2020). در آزمایش دو ساله دیگری، همبستگی مکانی قابل توجهی بین زیست‌توده زعفران و تراکم علف‌های هرز توسط کراس سمی‌واریوگرام و ضریب همبستگی اسپیرمن مشاهده شد؛ به‌طوری که الگوهای پراکنش جمعیت علف‌های هرز بر الگوهای تغییرات زیست‌توده زعفران منطبق بودند (Makarian and Abbasdokht, 2014). گزارش شده است که ناهمگونی خاک به طور قابل توجهی بر فراوانی و پراکنش گونه‌های علف‌های هرز اثر دارد (Pätzold *et al*., 2020). در آزمایشی که با هدف تهیه نقشه علف‌های هرز در مزرعه پنبه با استفاده از روش زمین‌آمار انجام شد، گزارش شد که علف هرز اویارسلام ارغوانی (*Cyperus rotundus* L) دارای همبستگی منفی با pH، محتوای رس و پتاسیم خاک و همبستگی مثبت با محتوای شن خاک بود. علف هرز پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.) همبستگی مثبتی با محتوتی رس، pH، پتاسیم و همبستگی منفی با شن خاک داشت (Kalivas *et al*., 2012). در آزمایش دیگری که به‌منظور ارزیابی الگوهای پراکنش مکانی علف‌های هرز در ارتباط با ویژگی‌های خاک انجام شد، گزارش شد که علف هرز سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) با محتوای شن خاک همبستگی مثبت و با محتوای رس خاک همبستگی منفی داشت. علف هفت‌بند (*Polygonum aviculare* L.) همبستگی مثبتی با محتوای رس خاک داشت (Pätzold *et al*., 2020). با توجه به اثر ویژگی‌های خاک بر ترکیب جامعه علف‌های هرز و تراکم آنها، آگاهی از این رابطه باعث می‌شود تا بتوان بهترین راهبرد برای کنترل علف‌های هرز را انتخاب نموده و برنامه‌ریزی مدیریتی مناسبی را طراحی کرد (Lousada *et al*., 2013).

رابطه عملکرد گیاهان زراعی و متغیرهایی مانند محتوای عناصر غذایی خاک و یا تراکم علف‌های هرز در بسیاری از آزمایش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و به خوبی شناخته شده است (Bastiaans *et al*., 2000; Park *et al*., 2003)، ولی باید توجه داشت که این روابط بدون در نظر گرفتن تنوع مکانی متغیرهای مؤثر بر عملکرد و اغلب با فرض یکنواختی پراکنش آن‌ها در تیمارهای آزمایشی به دست می‌آیند، در حالی‌که در مقیاس مزرعه تغییرات مکانی عناصر غذایی، علف‌های هرز و سایر متغیرهای محدود کننده رشد و عملکرد بسیار زیاد بوده و گاه در فواصل چند متری نیز تفاوت‌های زیادی مشاهده می‌شود (Paz *et al*., 2001). در همین رابطه، این تحقیق به‌منظور مطالعه ارتباط مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم خاک با عملکرد دانه گندم در شرایط تداخل با علف هرز جودره با استفاده از روابط زمین‌آمار انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه‌ای واقع در شهرستان مبارکه استان اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و با استفاده از روش زمین‌آمار اجرا شد.

بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، شهرستان مبارکه دارای اقلیم خشک سرد و براساس روش آماری تحلیل‌های چند متغیره دارای اقلیم نیمه سرد و خشک می‌باشد. زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم زمستانه بود. قبل از کاشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل)، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره) به خاک مزرعه اضافه شد. بذر گندم رقم پیشگام در هفته اول آذر سال ۱۳۹۸ در کرت‌هایی به ابعاد ۲۰ × ۱۴ متر کاشته شد. در این آزمایش هیچ‌گونه عملیات مدیریتی برای کنترل علف‌های هرز انجام نشد. علف‌های هرز غالب مزرعه، دم‌روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides* Huds.)، جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) بودند که علف هرز جودره به‌عنوان علف هرز تداخل کننده با گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌برداری از تراکم علف هرز جودره (در یک مرحله) و عملکرد دانه گندم، روی شبکه علامت‌گذاری شده مربعی (گرید) به ابعاد ۲ × ۲ متر و در مجموع در ۸۸ نقطه در مزرعه انجام شد. نمونه‌برداری از عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز با استفاده از چارچوب هایی به ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر در محل تقاطع خطوط شبکه انجام شد. نمونه‌برداری از خاک برای ویژگی‌های مورد نظر شامل محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی، اسیدیته، محتوای رس، سیلت و شن نیز با استفاده از چارچوب‌های ثابت به ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. محل‌های نمونه‌برداری برای عملکرد دانه گندم و علف هرز با محل‌های نمونه‌برداری از ویژگی‌های خاک منطبق بودند.

با توجه به شباهت نمونه‌های حاصل از مشاهدات نزدیک در مقایسه با داده‌های حاصل از فواصل زیاد، همبستگی مکانی بین نمونه‌ها به‌صورت یک مدل ریاضی تحت عنوان سمی‌واریوگرام یا نیم تغییرنما توصیف شد (رابطه ۱) (Mohammadi, 2002).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

N(h): زوج نمونه‌ای است که به فاصله‌ی h از یکدیگر واقع شده‌اند، Z(xi): مقدار متغیر مورد نظر در موقعیت xi، Z(xi+h): مقدار متغیر مورد نظر در موقعیت xi+h و y(h): سمی‌واریوگرام هستند. به‌طور نظری، واریوگرام عبارت از نصف واریانس تفاوت بین مقادیر متغیر مورد نظر است که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه در عمل تنها تعداد محدودی نمونه در دسترس است، لازم است واریوگرام تجربی محاسبه شود. نمایش معمول واریوگرام از طریق ترسیم نمودار واریانس توزیع تفاوت ها برحسب فاصله صورت می‌گیرد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود، مقدار تجربی این رابطه بدست آمده و سپس مدل برحسب این مقادیر تجربی برازش داده می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

از فراسنجه های (پارامترهای) مدل جهت تخمین تراکم علف هرز، عملکرد دانه گندم و سایر ویژگی‌های خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده در کریجینگ استفاده شد. این فراسنجه‌ها عبارت بودند از؛ حد آستانه (C_0+C) یا مجانب (Asymptote) (A)، با افزایش یافتن فاصله h، مقدار واریوگرام‌ها به تدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن به بعد به حد ثابتی می‌رسد و در چنین شرایطی تابع مورد نظر، فاقد هرگونه صعود و یا نزول است که نشانگر حدآستانه است و برای پیش‌بینی دامنه تأثیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دامنه تأثیر (Range) (Ao)، فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حداکثر مقدار خود رسیده و ثابت می‌شود. وقتی واریوگرام ثابت می‌شود نشان‌دهنده این است که داده‌ها در ورای این فاصله دیگر با هم همبستگی نداشته و از یکدیگر مستقل می‌شوند و ویژگی مورد نظر در آن فاصله دارای همبستگی است. عرض از مبدا (Intercept) (I) یا اثر

قطعه‌ای (Co)، مقداری است که در اثر تغییرات غیر قابل پیش‌بینی یا خطاهای ذاتی نمونه‌برداری حادث می‌شود، به این معنا که مشاهدات جدا شده به وسیله فواصل بی‌نهایت کوچک مشابه نیستند. هرچه عرض از مبدأ به سمت صفر میل کند، از تصادفی بودن توزیع متغیر مورد نظر کاسته شده و همبستگی مکانی بالاتری پدیدار می‌شود. زمانی‌که مقدار اثر قطعه‌ای از صفر افزایش پیدا می‌کند، نشان‌دهنده این است که عوامل تصادفی غیر قابل پیش‌بینی وجود دارند. تفاوت بین حد آستانه و عرض از مبدأ نشان‌دهنده مقدار واریانسی است که به‌وسیله فواصل بین نقاط نمونه‌برداری شده توصیف می‌شود. این مقدار هنگامی که به عنوان درصدی از حدآستانه بیان شود، نشان‌دهنده میزان همبستگی مکانی است. برای محاسبه میزان همبستگی مکانی از رابطه ۲ استفاده شد (Cardina *et al*., 1996).

(رابطه ۲)

$$Autocorrelation(\%) = [\frac{Asymptote - Intercept}{Asymptote}] \times 100$$

Autocorrelation (%): درصد همبستگی مکانی، Asymptote: مجانب و Intercept: عرض از مبدأ هستند.

مقادیر همبستگی مکانی بین صفر (نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی مکانی یا پراکنش کاملاً تصادفی) تا ۱۰۰ درصد (همبستگی مکانی بالا) تغییر می‌کند. مقادیر کوچک‌تر یا مساوی ۲۵ درصد نشان دهنده همبستگی مکانی ضعیف، از ۲۵ تا ۷۵ درصد همبستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد همبستگی مکانی بالا محسوب می‌شوند (Jurado-Exposito *et al*., 2003).

بخش عمده ویژگی‌های آماری، نرمال کردن داده‌ها، تبدیل برگشت (پس از برآورد آماری، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه برگشت داده شد و سپس نقشه‌ها ترسیم شدند)، رسم واریوگرام‌های تجربی، برازش مدل، برآورد کریجینگ و رسم نقشه‌ها برای تراکم گیاهچه‌های علف هرز، عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک با استفاده از نرم‌افزار +GS انجام شد. جهت توصیف همبستگی مکانی بین دو متغیر (تراکم علف هرز و عملکرد گندم) از سمی‌واریوگرام متقاطع یا کراس سمی‌واریوگرام استفاده شد (رابطه ۳) (Colbach *et al*., 2000).

(رابطه ۳)

$$\gamma AB(h) = \frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[ZA(Xi) - ZA(Xi+h) \times ZB(Xi) - ZB(Xi+h)]$$

AB(h): کراس سمی‌واریوگرام برای مکان‌های نمونه‌برداری است که به فاصله h از یکدیگر واقع شده‌اند. ZA(xi) و ZB(xi): به‌ترتیب مقدار دو متغیر (تراکم علف‌های هرز و عملکرد دانه گندم) در نقاط X و Xh هستند. براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این رابطه بدست آمده و سپس مدلی با این مقادیر تجربی مطابقت داده شد. جهت برازش مدل‌ها و ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها، ابتدا داده‌ها نرمال شدند و پس از افزودن یک به کلیه داده‌ها، از آن‌ها لگاریتم طبیعی گرفته شد. رسم کراس سمی‌واریوگرام‌ها با استفاده از نرم‌افزار Variowin انجام شد. اعتبارسنجی مدل واریوگرام نیز با محاسبه ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) انجام شد (رابطه ۴):

(رابطه ۴)

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_p(h_i) - Z_o(h_i))^2}{n}}$$

Zp(hi): مقدار پیش‌بینی شده متغیر در نقطه hi و Zo(hi): مقدار اندازه‌گیری شده در همان نقطه و n: تعداد مشاهدات هستند. RMSE انحراف معیار خطای پیش‌بینی است و دارای واحدی مشابه واحد متغیر مورد بررسی می‌باشد. کوچک بودن این شاخص، معیاری برای بالا بودن دقت مدل برازش داده شده برای

پیش‌بینی نقاط مجهول است. هر چه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده خطای کمتر مدل می‌باشد (Moradi Kalbolandi, 2020; Jurado-Expósito *et al*., 2021). مقدار RMSE نیز خطا را به عنوان درصدی از میانگین مشاهدات نشان می‌دهد (رابطه ۵).

$$\text{RMSE}\ (\%) = \text{RMSE} \times \frac{100}{\bar{O}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$\bar{O}$: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است.

اگر مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، پیش‌بینی عالی، بین ۲۰-۱۰ درصد خوب، بین ۳۰-۲۰ درصد متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد ضعیف محسوب می‌شود (Jamieson *et al*., 1991).

برای تعیین میزان همبستگی بین متغیرها ضرایب همبستگی اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) محاسبه شدند (رابطه ۶) (Cardina *et al*., 1996).

$$r_s = \frac{6\ \sum_{j=1}^{n}(D)^2}{n\ (n^2-1)} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

D: تفاوت بین مقادیر متناظر دو متغیر و n: تعداد زوج متغیرها هستند.

نتایج و بحث

توصیف آماری مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که میانگین نیتروژن خاک ۰/۰۲۷ درصد بود. حداقل و حداکثر مقدار نیتروژن خاک به‌ترتیب با ۰/۰۱۹ و ۰/۰۴۲ درصد، نشان‌دهنده تغییرات زیاد این ویژگی بین نقاط نمونه‌برداری شده بود. ضریب تغییرات نیتروژن خاک ۲۳/۷ درصد بود. نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین محتوای پتاسیم خاک مزرعه به‌ترتیب ۱۶۹/۸، ۲۱۰/۵ و ۱۹۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ضریب تغییرات پتاسیم خاک نیز ۶/۳ درصد بود. حداقل، حداکثر و میانگین فسفر خاک مزرعه به‌ترتیب ۹/۲، ۱۶/۵ و ۱۴/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ضریب تغییرات آن نیز ۱۲/۱ درصد بود (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil at the experiment site

Soil properties	ویژگی‌های خاک	واحد Unit	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	خطای استاندارد Standard error	ضریب تغییرات CV (%)
Nitrogen	نیتروژن	%	0.019	0.042	0.027	0.0064	0.0006	23.7
Phosphorus	فسفر	$mg.kg^{-1}$	9.2	16.5	14.0	1.7	0.18	12.1
Potassium	پتاسیم	$mg.kg^{-1}$	169.8	210.5	195.0	12.3	1.31	6.3
pH	اسیدیته	-	7.64	8.08	7.76	0.13	0.01	1.6
EC	هدایت الکتریکی	$dS.m^{-1}$	2.65	3.03	2.80	0.11	0.01	3.9
Clay	رس	%	14.8	25.1	21.7	2.94	0.31	13.5
Silt	سیلت	%	15.8	34.8	22.8	3.72	0.39	16.3
Sand	شن	%	49.1	59.9	55.4	3.27	0.34	5.9

نتایج یک آزمایش در خصوص تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه برنج و ویژگی‌های خاک نشان داد که میانگین محتوای فسفر خاک مزرعه ۱۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و بالاترین ضریب تغییرات (۷۴/۶ درصد) نیز مربوط به محتوای فسفر خاک بود (Liu *et al*., 2014). در آزمایش دیگری که با هدف ارزیابی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی انجام شد، میانگین فسفر خاک ۱۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ضریب تغییرات آن ۷۵/۸ درصد بود (Awe *et al*., 2020).

میزان اسیدیته خاک مزرعه بین ۷/۶۴ و ۸/۰۸ متغیر بود و میانگین آن نیز ۷/۷۶ بود. اسیدیته خاک دارای

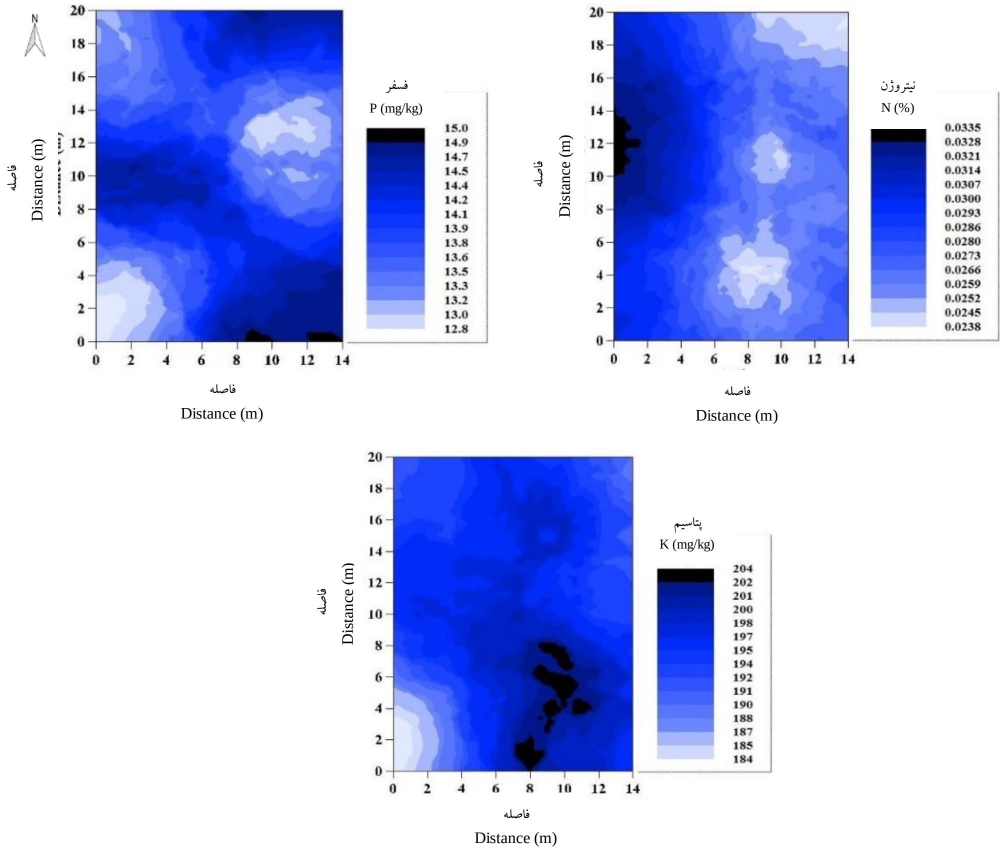
دامنه تغییرات کم بود و در بین ویژگی‌های خاک، پایین‌ترین ضریب تغییرات (۱/۶ درصد) را داشت (جدول ۱). در آزمایشی که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک انجام شد، دامنه تعییرات اسیدیته خاک بین ۷/۰۱ تا ۸/۱۵ بود و در بین کلیه ویژگی‌های خاک، کمترین ضریب تغییرات (۲/۹۹ درصد) مربوط به اسیدیته خاک بود (Gehlot *et al*., 2023). در ارزیابی تغییرپذیری مکانی عملکرد برنج و ویژگی‌های خاک نیز کمترین ضریب تغییرات (۱۷/۳۸ درصد) مربوط به اسیدیته خاک بود (Liu *et al*., 2014). حداقل، حداکثر و میانگین هدایت الکتریکی خاک مزرعه به‌ترتیب (۲/۶۵، ۳/۰۳ و ۲/۸۰ دسی زیمنس بر متر) و ضریب تغییرات آن نیز ۳/۹ درصد بود (جدول ۱). در همین رابطه، در آزمایشی که با هدف ارزیابی ارتباط بین ویژگی های خاک و عملکرد گیاهان زراعی انجام شد، مقدار هدایت الکتریکی خاک بین ۰/۰۲۳ و ۸/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر و ضریب تغییرات آن نیز ۹۹/۳ درصد بود (Awe *et al*., 2020). در یک آزمایش نتایج مربوط به تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی خاک بین ۰/۱۰ تا ۰/۷۹ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود و در بین کلیه ویژگی‌های خاک، بیشترین ضریب تغییرات (۵۱/۹۲ درصد) مربوط به هدایت الکتریکی خاک بود (Gehlot *et al*., 2023).

حداقل، حداکثر و میانگین محتوای رس خاک مزرعه به‌ترتیب ۱۴/۸، ۲۵/۱ و ۲۱/۷ درصد، برای سیلت به‌ترتیب ۱۵/۸، ۳۴/۸ و ۲۲/۸ درصد و برای شن به‌ترتیب ۴۹/۱، ۵۹/۹ و ۵۵/۴ درصد بود. ضریب تغییرات برای محتوای رس، سیلت و شن خاک نیز به‌ترتیب ۱۳/۵، ۱۶/۳ و ۵/۹ درصد بود (جدول ۱). در تحقیقی که با هدف مطالعه پراکنش مکانی علف‌های هرز در ارتباط با خصوصیات خاک انجام شد، محتوای شن خاک، تغییرپذیری بیشتری (ضریب تغییرات ۱۹ درصد) در مقایسه با سیلت و رس (ضریب تغییرات ۴/۷ و ۵/۹ درصد) داشت (Pätzold *et al*., 2020). در رابطه با ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی گزارش شده است که ضریب تغییرات برای محتوای رس، سیلت و شن خاک به ترتیب ۲۱/۱، ۸/۱ و ۳/۷ درصد بوده و کمترین ضریب تغییرات مربوط به محتوای شن خاک بود (Awe *et al*., 2020).

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که محتوای نیتروژن خاک در مزرعه مورد مطالعه، توزیع تصادفی یا یکنواختی نداشت و دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای نیتروژن خاک با مدل نمایی مطابقت داشت (جدول ۲). میانگین همبستگی مکانی برای نیتروژن خاک ۵۰/۱ درصد در دامنه تأثیر ۴۱/۰ متر بود (جدول ۲). بالا بودن دامنه تأثیر نیتروژن خاک نشان می‌دهد که لکه‌های طولی با مقادیر کم و یا زیاد نیتروژن در خاک مزرعه وجود داشتند (شکل ۱).

در تحقیقی که با هدف ارزیابی عوامل تأثیرگذار در ناهمگونی پراکنش مکانی عملکرد دانه گندم انجام شد، دامنه تأثیر سمی‌واریوگرام برای نیتروژن خاک ۲۱۱ متر و مدل برازش یافته بر این متغیر از نوع نمایی بود (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایش دیگری که روی گندم انجام شد، بهترین مدل برای نیتروژن کل خاک در هر دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، مدل کروی بود و همبستگی مکانی بالایی برای نیتروژن خاک در هر دو عمق مشاهده شد (Cui *et al*., 2017).

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که محتوای فسفر خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت بوده و دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. همبستگی مکانی متوسط برای الگوی پراکنش



شکل ۱- نقشه‌های پراکنش مکانی محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک محل اجرای آزمایش

Fig. 1. Spatial distribution maps of nitrogen, phosphorus and potassium content of soil at the experiment site

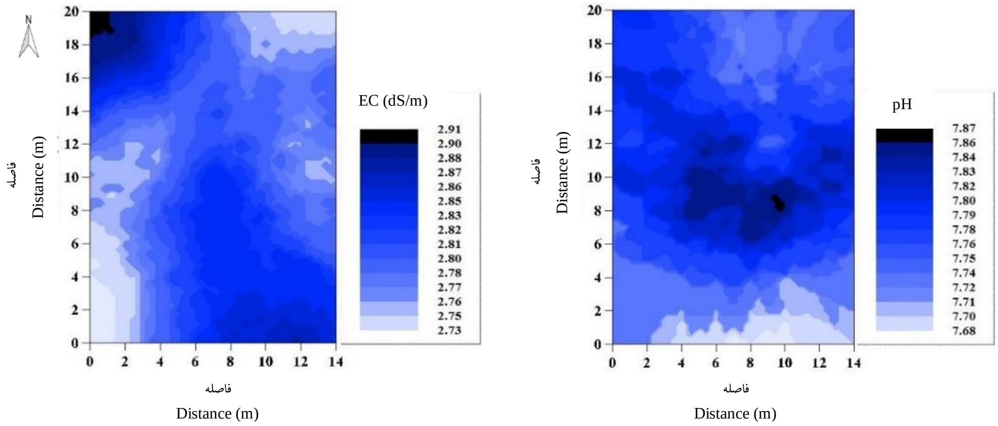
فسفر خاک در سطح مزرعه توسط مدل نمایی سمی‌واریوگرام ۵۰ درصد بود (جدول ۲). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی عملکرد برنج و ویژگی‌های خاک انجام شد، بهترین مدل برای محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، مدل نمایی و برای عملکرد برنج، مدل کروی بود (Liu *et al*., 2014). در آزمایش دیگری که به منظور بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک انجام شد، محتوای فسفر خاک دارای همبستگی مکانی ضعیف و سایر ویژگی‌های مورد مطالعه، همبستگی مکانی متوسط داشتند. برای اکثر ویژگی‌های خاک نیز مدل نمایی بهترین مدل برازش داده شده بود (Gehlot *et al*., 2023).

برازش مدل سمی‌واریوگرام برای پتاسیم خاک، پراکنش مکانی متوسط ۵۷/۳ درصد در دامنه تأثیر ۳۹/۴ متر بود (جدول ۲). همبستگی مکانی صفر برای اسیدیته خاک، نشان دهنده توزیع کاملاً تصادفی و البته تغییرات اندک این متغیر در دامنه مورد نظر بود (جدول ۲). همبستگی مکانی بالای ویژگی‌های خاک نشان دهنده این است که این ویژگی‌هایی با تغییر در ویژگی‌های ذاتی خاک مانند شیب زمین، عوامل تشکیل‌دهنده خاک، بافت و غیره کنترل می‌شوند (Yasrebi *et al*., 2008)، درحالی‌که همبستگی مکانی متوسط و پایین ممکن است به دلایل مدیریتی مانند کاربری زمین، خاک‌ورزی، نوع کشت، آبیاری و سایر موارد باشد (Awe *et al*., 2018). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که هدایت الکتریکی

جدول ۲- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Coefficients of fitted models on empirical semivariograms for physical and chemical properties of soil at the experiment site

Soil properties	ویژگی‌های خاک	Semi-variogram model	مدل سمی‌واریوگرام	عرض از مبدا Intercept (Nugget) (Co)	مجانب (آستانه) Asymptote (Sill) (Co+C)	دامنه Range (m)	همبستگی Correlation (%)	Spatial class	کلاس مکانی	r^2	RMSE	RMSE (%)	Prediction accuracy	دقت پیش‌بینی
Nitrogen	نیتروژن	Exponential	نمایی	0.0000314	0.0000630	41.0	50.1	Moderate	متوسط	0.36	0.006	22.22	Moderate	متوسط
Phosphorus	فسفر	Exponential	نمایی	0.01331	0.02672	41.0	50.1	Moderate	متوسط	0.25	1.725	12.31	Good	خوب
Potassium	پتاسیم	Exponential	نمایی	0.00313	0.00734	39.4	57.3	Moderate	متوسط	0.80	11.910	6.10	Great	عالی
pH	اسیدیته	Linear	خطی	0.0002205	0.0002205	16.6	0	Weak	ضعیف	0.04	0.127	1.63	Great	عالی
EC	هدایت الکتریکی	Exponential	نمایی	0.000595	0.00175	37.0	66.0	Moderate	متوسط	0.83	0.106	3.78	Great	عالی
Clay	رس	Spherical	کروی	0.008	0.041	41.0	80.4	Strong	قوی	0.85	2.471	11.36	Good	خوب
Silt	سیلت	Exponential	نمایی	0.02089	0.04188	41.0	50.1	Moderate	متوسط	0.32	3.814	16.71	Good	خوب
Sand	شن	Spherical	کروی	0.00229	0.00583	41.0	60.7	Moderate	متوسط	0.92	3.128	5.64	Great	عالی



شکل ۲- نقشه‌های توزیع مکانی اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک محل اجرای آزمایش

Fig. 2. Spatial distribution maps of pH and EC of soil at the experiment site

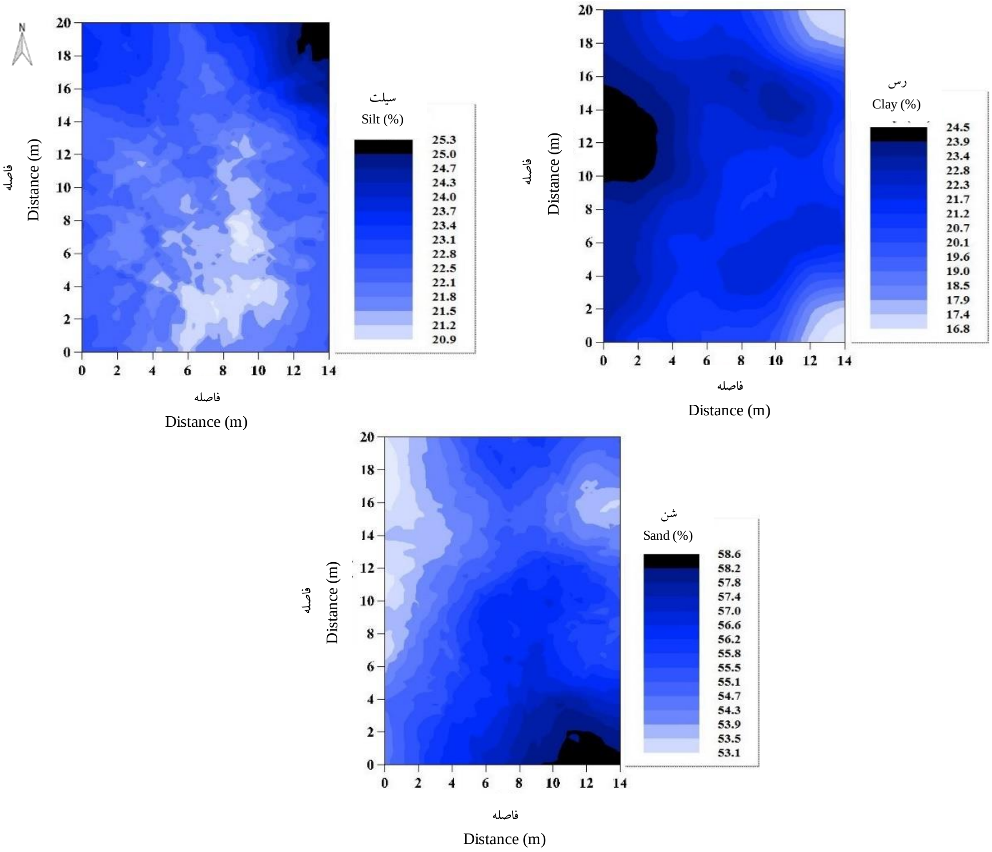
خاک توزیع تصادفی یا یکنواخت نداشته، بلکه دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای هدایت الکتریکی خاک با مدل نمایی مطابقت داشت. نتایج نشان داد که همبستگی مکانی متوسط هدایت الکتریکی خاک ۶۶/۰ درصد در دامنه تأثیر ۳۷/۰ متر بود (جدول ۲).

سمی‌واریوگرام برازش داده شده بر محتوای رس خاک با مدل کروی سازگاری داشت (جدول ۲). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که محتوای رس خاک مزرعه، پراکنش تصادفی یا یکنواخت نداشته، بلکه دارای پراکنش لکه‌ای بود. همبستگی مکانی بالا (۸۰/۴ درصد) برای رس خاک، نشان دهنده پراکنش کاملاً لکه‌ای آن در دامنه مورد نظر بود (جدول ۲). سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای محتوای سیلت خاک با مدل نمایی مطابقت داشت. برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام بر محتوای سیلت خاک دارای همبستگی مکانی متوسط (۵۰/۱ درصد) در دامنه تأثیر ۴۱/۰ متر بود (جدول ۲).

نتایج نشان داد که سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای محتوای شن خاک با مدل کروی منطبق بود (جدول ۲). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که محتوای شن خاک، دارای پراکنش تصادفی یا یکنواخت نبوده، بلکه پراکنش لکه‌ای داشت. همبستگی مکانی برای محتوای شن خاک، ۶۰/۷ درصد بود (جدول ۲). در آزمایشی که با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی های خاک و عملکرد سیب‌زمینی انجام شد، محتوای رس خاک در هر سه سال آزمایش، همبستگی مکانی متوسط داشت، درحالی‌که محتوای سیلت و شن خاک در دو سال اول، دارای تغییرپذیری مکانی بالا و در سال سوم دارای همبستگی مکانی متوسط بودند (Zhang *et al.*, 2023).

نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین تراکم علف هرز جودره در مزرعه گندم به ترتیب صفر، ۱۶/۰ و ۳/۵۹ بوته در مترمربع بود. بخش‌های نمونه‌برداری شده عاری از علف هرز جودره در مزرعه ۶۱/۳ درصد بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که سمی‌واریوگرام‌ها محاسبه شده برای تراکم علف هرز جودره با مدل کروی سازگاری داشت. برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که تراکم علف هرز جودره، توزیع تصادفی یا یکنواختی نداشته، بلکه دارای آرایش لکه‌ای یا تجمعی بود. میزان همبستگی مکانی برای



شکل ۳- نقشه‌های پراکنش مکانی اجزای بافت خاک محل اجرای آزمایش

Fig. 3. Spatial distribution maps of soil texture of soil at the experiment site

جدول ۳- اطلاعات آماری تراکم علف هرز جودره و عملکرد دانه گندم

Table 3. Statistical information of plant density of wild barley and grain yield of wheat

صفات گیاهی Plant traits	حداقل Min.	حداکثر Max.	میانگین Mean	انحراف معیار SD	خطای استاندارد SE	ضریب تغییرات CV (%)	نقاط عاری از علف هرز Weed free points (%)
تراکم علف هرز جودره Wild barley density.m^{-2}	0	16.0	3.5	5.2	0.56	147.0	61.3
عملکرد دانه گندم Wheat grain yield (g.m^{-2})	222.2	355.9	286.6	44.6	4.75	15.5	-

الگوهای پراکنش علف هرز جودره در سطح مزرعه توسط مدل‌های سمی‌واریوگرام، ۶۰/۱ درصد بود (جدول ۴). دامنه تأثیر برای پراکنش جمعیت علف هرز جودره، ۴۱ متر به دست آمد که نشان‌دهنده وجود لکه‌های پیوسته نسبتاً بزرگ می‌باشد (جدول ۴).

در آزمایشی که با هدف تهیه نقشه پراکنش علف هرز شقایق وحشی (*Papaver rhoeas* L.) در پنج مزرعه گندم انجام شد، مقادیر دامنه از ۱۵/۴۴ تا ۳۰/۷۴ متر، بسته به مزرعه، متغیر بود. گزارش شد که علف هرز یاد شده در سطح مزارع پراکنش لکه‌ای داشت و در چهار مزرعه، همبستگی مکانی بالا و در یک مزرعه،

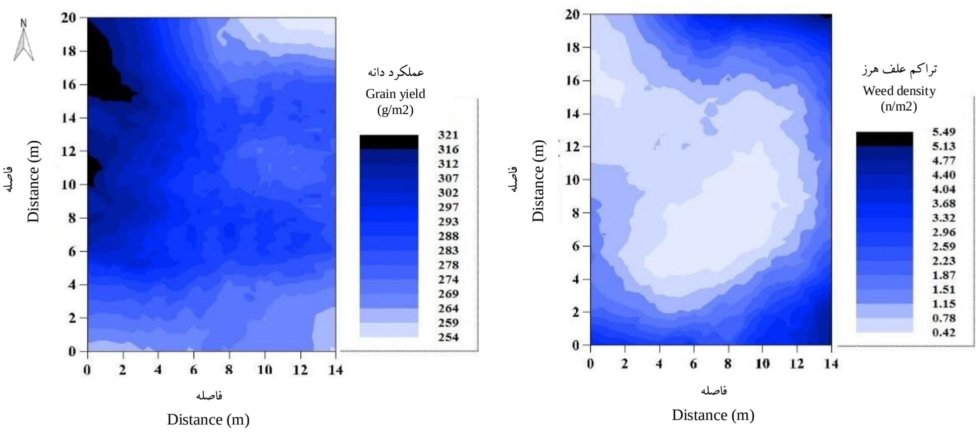
جدول ۴- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای تراکم علف هرز جودره و عملکرد دانه گندم

Table 4. Coefficients of fitted models on empirical semivariograms for plant density of wild barley and grain yield of wheat

صفات گیاهی Plant traits	مدل سمی‌واریوگرام Semi-variogram model	عرض از مبدا Intercept (Nugget) (Co)	مجانب (آستانه) Asymptote (Sill) (Co+C)	دامنه Range (m)	همبستگی Correlation (%)	کلاس مکانی Spatial class	r^2	RMSE	RMSE (%)	دقت پیش‌بینی Prediction accuracy
تراکم علف هرز جودره Wild barley density	کروی Spherical	0.84	2.109	41.0	60.1	متوسط Moderate	0.93	5.409	150.63	ضعیف Weak
عملکرد دانه گندم Wheat grain yield	کروی Spherical	0.01644	0.03858	37.8	57.3	متوسط Moderate	0.72	43.220	15.07	خوب Good

همبستگی مکانی متوسط برای تراکم علف هرز مشاهده شد (Jurado-Expósito *et al*., 2019). در آزمایش دیگری که با هدف مطالعه تغییرپذیری مکانی علف هرز گل گندم (*Centaurea diluta* Aiton) در دو مزرعه گندم انجام شد، مقادیر دامنه سمی‌واریوگرام برای این علف هرز حدود ۲۱ و ۳۲ متر، بسته به مزرعه، متغیر بود. همبستگی مکانی بالایی برای این علف هرز مشاهده و اظهار شد که تراکم علف هرز، متغیری است که تا حد زیادی زیادی وابسته به مکان بوده و پراکنش لکه‌ای دارد (Jurado-Expósito *et al*., 2021).

نقشه‌های حاصل از درون‌یابی با کریجینگ، به‌خوبی وضعیت پراکنش تراکم علف هرز در سطح مزرعه را نشان داد. پراکنش ناهمگون تراکم علف هرز در این نقشه‌ها کاملا مشهود بود و لکه‌های علف هرز جودره عمدتاً به سمت حاشیه‌های مزرعه پراکندگی داشتند (شکل ۴). به‌نظر می‌رسد که در حاشیه‌های مزرعه شرایط مناسب‌تری برای جوانه‌زنی و رشد علف هرز جودره وجود داشته است. عواملی مثل غنی بودن بانک بذر و وجود مکان‌های امن، باعث انبوهی تراکم علف هرز در این نقاط شد. یکی از دلایل پراکنش غیریکنواخت علف هرز جودره، مربوط به ویژگی‌های خاک مزرعه بود، براساس نتایج کراس سمی واریوگرام و مقایسه نقشه‌ها، تراکم این علف هرز همبستگی مکانی و مطابقت بالایی با برخی از ویژگی‌های خاک داشت. در نقاطی از سمت شمال غربی و غرب مزرعه که تراکم علف هرز پایین بود، محتوای رس خاک بالا و محتوای شن پایین بود. در همین رابطه، در آزمایشی که با هدف ارزیابی پراکنش مکانی و ثبات مکانی-زمانی علف‌های هرز غالب در یک مزرعه ذرت انجام شد، پراکنش علف هرز سلمه‌تره عمدتاً در حاشیه‌های مزرعه بوده و در طول دوره دوساله آزمایش نیز تا حد زیادی ثابت ماند (Calha *et al*., 2014). حاشیه‌های مزرعه با توجه به انتقال بذر علف‌های هرز از خارج به داخل مزرعه، زنده‌مانی بوته‌هایی که دیرتر جوانه می‌زنند و کنترل ضعیف‌تر علف‌های هرز به‌دلیل پایین بودن کارآیی علف‌کش‌ها و همچنین تراکم کمتر و استقرار ضعیف‌تر گیاهان زراعی و برخورداری بهتر از منابع مانند تابش و رقابت کمتر با گیاه زراعی، مکان امنی برای استقرار و رشد علف‌های هرز محسوب می‌شوند (Alimoradi, 2010).



شکل ۴- نقشه‌های پراکنش مکانی تراکم علف هرز جودره (راست) و عملکرد دانه گندم (چپ)

Fig. 4. Spatial distribution maps of plant density of wild barley (right) and grain yield of wheat (left)

میانگین عملکرد دانه گندم ۲۸۶/۶ گرم در مترمربع بود. مقادیر حداقل و حداکثر عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۲۲/۲ و ۳۵۵/۹ گرم در مترمربع بود که نشان‌دهنده تغییرات بسیار زیاد این ویژگی بین نقاط نمونه‌برداری است. ضریب

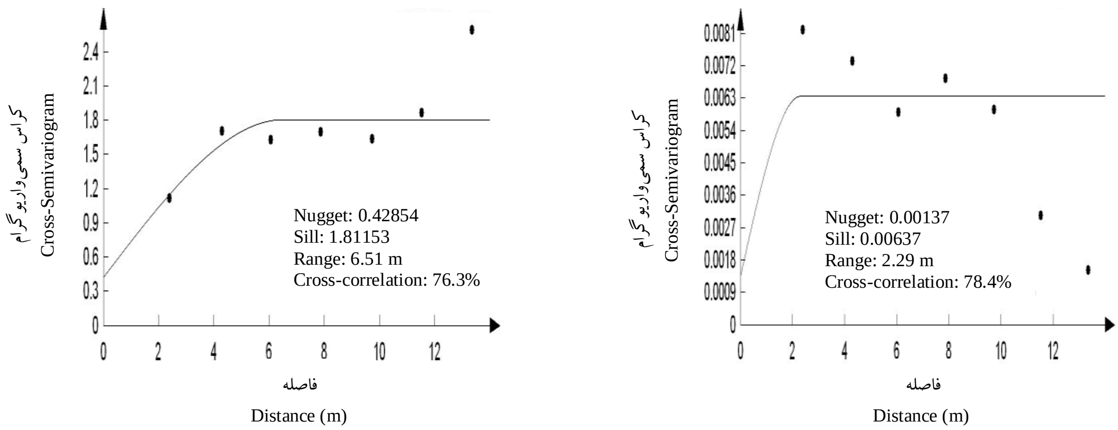
تغییرات این متغیر ۱۵/۵ درصد بود (جدول ۳). در همین رابطه، در آزمایشی با هدف ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های خاک انجام شد، ضریب تغییرات برای عملکرد دانه گندم ۴۵/۵ درصد بود (Lipiec and Usowicz, 2018).

نتایج نشان داد که سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای عملکرد دانه گندم با مدل کروی منطبق بود (جدول ۴). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه، پراکنش یکنواخت یا تصادفی نداشته، بلکه دارای پراکنش لکه‌ای یا تجمعی بود. همبستگی مکانی متوسط برای عملکرد دانه ۵۷/۳ درصد بود (جدول ۴). در همین رابطه نتایج یک آزمایش نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه پراکنش لکه‌ای داشته و مدل سمی‌واریوگرام برازش داده شده بر داده‌های عملکرد دانه دارای همبستگی مکانی ۸۱ درصد برای پراکنش عملکرد در سطح مزرعه بود (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایش دیگری که روی گندم انجام شد، تغییرات وزن زیست‌توده گندم در سطح مزرعه، دارای پراکنش لکه‌ای بود و همبستگی مکانی نسبتاً بالایی (۷۴/۳ درصد) برای پراکنش وزن زیست‌توده گندم به‌دست آمد (Makarian and Hosseini, 2011).

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گندم در سمت شمال غربی و غرب مزرعه بدست آمد. یکی از علل احتمالی این موضوع را می‌توان به پایین بودن تراکم علف هرز در این بخش از مزرعه نسبت داد. همان‌طور که در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، در این نقاط از مزرعه، تراکم علف هرز جودره بسیار پایین بود. بدیهی است که در نقاطی از مزرعه، تراکم علف هرز اندک یا صفر باشد، گیاه زراعی رشد و عملکرد بیشتری خواهد داشت. در همین رابطه، در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه پراکنش مکانی عملکرد دانه عدس و تراکم علف‌های هرز نشان داد که اکثر نقاط با تراکم بالای علف‌های هرز، منطبق بر نقاط با عملکرد کمتر محصول عدس بود (Zargarian *et al.*, 2020). ویژگی‌های خاک نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در عملکرد بالاتر گندم در بخش شمال غربی و غرب مزرعه باشد، زیرا در این بخش از مزرعه که عملکرد دانه بیشتر بود، محتوای رس و نیتروژن خاک نیز بیشتر و محتوای شن کمتر بود. نتایج کراس سمی‌واریوگرام نیز مؤید همبستگی مکانی بالا و مثبت عملکرد دانه با محتوای نیتروژن و رس و همبستگی مکانی بالا و معکوس با شن خاک بود. دامنه تأثیر به دست آمده برای عملکرد دانه گندم ۳۷/۸ متر بود که نشان‌دهنده وجود لکه‌های پیوسته نسبتاً بزرگ در سطح مزرعه می‌باشد (جدول ۴). در آزمایشی که با هدف بررسی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد، دامنه تأثیر برای عملکرد دانه گندم ۴۵/۹ متر بود (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش تغییرات مکانی-زمانی عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی بالا در دامنه تأثیر ۱۲/۸۲ متر داشت (Cui *et al*., 2017).

به منظور ارزیابی میزان همبستگی مکانی در پراکنش علف هرز جودره و ویژگی‌های خاک، مدل‌های کروی بر داده‌های علف هرز و خاک برازش داده و پارامترهای مربوط به مدل به صورت شکل‌های جداگانه نشان داده شدند. نتایج حاصل از برازش مدل‌های کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره با نیتروژن خاک نشان داد که همبستگی مکانی بالایی (۷۸/۴ درصد) بین الگوهای پراکنش دو متغیر مذکور، در دامنه تأثیر ۲/۲ متر، وجود داشت (شکل ۵). تجزیه کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و محتوای فسفر خاک نشان داد که بین الگوهای پراکنش این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد. میزان همبستگی مکانی بین این دو متغیر ۷۶/۳ درصد بود که نشان دهنده ارتباط مکانی بالا بین الگوهای پراکنش جمعیت علف هرز جودره و فسفر خاک می‌باشد (شکل ۵). مقایسه نقشه پراکنش علف هرز جودره با

عناصر غذایی خاک نیز نشان داد که پراکنش این علف هرز با نقشه‌های پراکنش نیتروژن و فسفر خاک مطابقت داشت. نقاط پرتراکم علف هرز با نقاط دارای محتوای نیتروژن و فسفر بیشتر خاک، منطبق بود.



شکل ۵- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و محتوای نیتروژن خاک (راست) و محتوای فسفر خاک (چپ)

Fig. 5. Spherical cross-semivariogram models between plant density of wild barley and nitrogen (right) and soil phosphorus (left) content

نتایج برآورد ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که علف هرز جودره همبستگی مثبت و معنی‌داری (r= ۰/۲۸**) با محتوای فسفر خاک داشت (جدول ۵). در همین رابطه، در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی ارتباط ویژگی‌های خاک و علف‌های هرز انجام شد، علف هرز اویارسلام ارغوانی که گونه غالب بود، همبستگی مثبتی با محتوای فسفر، پتاسیم و محتوای رس خاک و همبستگی منفی با اسیدیته و محتوای شن خاک داشت (Lousada *et al.*, 2013).

جدول ۵- ضرایب همبستگی اسپیرمن بین ویژگی‌های خاک، تراکم علف هرز و عملکرد دانه گندم

Table 5. Spearman's correlation coefficient between soil properties, plant density of wild barley and grain yield of wheat (n=88)

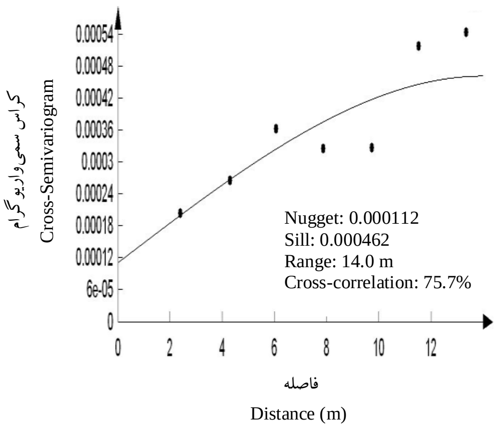
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Nitrogen	نیتروژن	1									
2	Phosphor	فسفر	-0.04^{ns}	1								
3	Potassium	پتاسیم	0.12^{ns}	0.30**	1							
4	pH	اسیدیته	0.27*	-0.06^{ns}	0.26*	1						
5	EC	هدایت الکتریکی	0.08^{ns}	-0.05^{ns}	0.23*	0.20^{ns}	1					
6	Clay	رس	0.34**	-0.19^{ns}	0.05^{ns}	0.03^{ns}	-0.25*	1				
7	Silt	سیلت	0.13^{ns}	-0.11^{ns}	-0.16^{ns}	0.14^{ns}	0.16^{ns}	-0.47**	1			
8	Sand	شن	-0.41**	0.34**	0.03^{ns}	-0.26*	-0.01^{ns}	-0.26*	-0.63**	1		
9	Weed	علف هرز	0.20^{ns}	0.28**	-0.19^{ns}	-0.14^{ns}	-0.01^{ns}	-0.19^{ns}	0.08^{ns}	0.10^{ns}	1	
10	Grain yield	عملکرد دانه	0.44**	-0.20^{ns}	0.28**	0.40**	0.15^{ns}	0.28**	0.26*	-0.56**	-0.42**	1

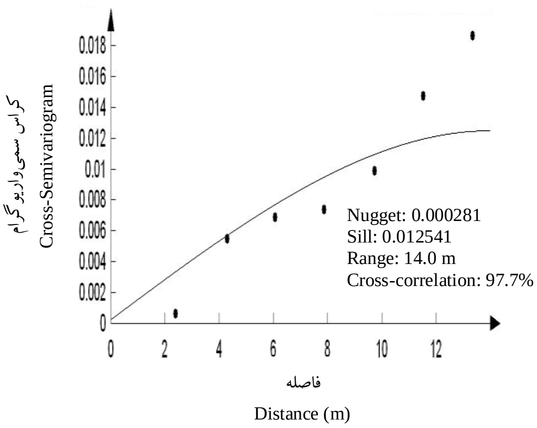
ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns,* and **: Not significant ans significant at 5% and 1% probability levels, respectively

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام علف هرز جودره و عکس پتاسیم خاک نشان داد که الگوهای پراکنش دو متغیر مذکور به مقدار قابل توجهی بر هم منطبق بودند؛ به‌طوری‌که همبستگی مکانی برای علف هرز جودره و عکس پتاسیم خاک در دامنه ۱۴/۰ متر، ۷۵/۷ درصد بود (شکل ۶). نتایج یک آزمایش نشان داد که گونه گاو چاق‌کن (*Sonchus asper*) دارای لکه‌هایی با دامنه گسترده بود که در ضلع شرقی مزرعه قرار داشته و عمدتاً از مشرق تا جنوب شرقی گسترده شده بود. این بخش از مزرعه دارای محتوای شن و پتاسیم پایینی بود (Alimoradi, 2010).

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و عکس محتوای رس خاک و هم‌چنین نقشه‌های ترسیم شده نشان داد که الگوهای پراکنش علف هرز به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر محتوای رس خاک منطبق بودند. تطابق مکانی بین این دو متغیر ۹۷/۷ درصد با دامنه تأثیر ۱۴/۰ متر بود (شکل ۶). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که با هدف تهیه نقشه علف‌های هرز در مزرعه پنبه با استفاده از روش زمین‌آمار انجام شد، علف هرز اویارسلام ارغوانی دارای همبستگی منفی با محتوای رس و پتاسیم خاک بود (Kalivas *et al*., 2012). در آزمایش دیگری که به منظور مطالعه الگوهای پراکنش مکانی علف‌های هرز در ارتباط با خصوصیات خاک انجام شد، گزارش شد که ناهمگونی خاک به مقدار قابل توجهی بر فراوانی و پراکنش گونه‌های علف‌های هرز تأثیرگذار بود. علف هرز سلمه‌تره همبستگی مثبتی با محتوای شن خاک و همبستگی منفی با محتوای رس خاک داشت (Pätzold *et al*., 2020).





شکل ۶- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و عکس محتوای پتاسیم خاک (راست) و علف هرز جودره و عکس محتوای رس خاک (چپ)

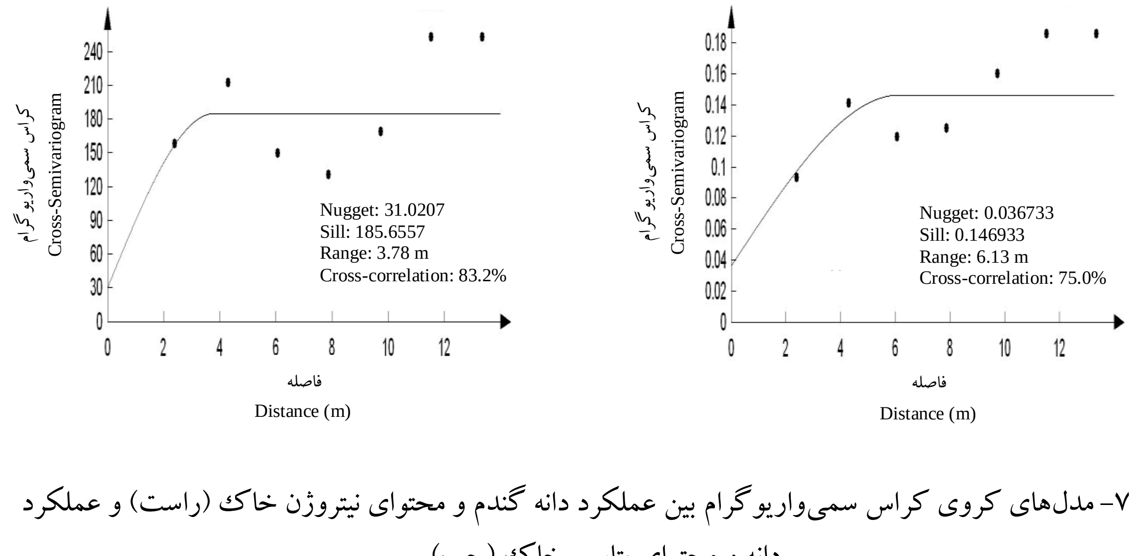
Fig. 6. Spherical cross-semivariogram models between plant density of wild barley and reverse soil potassium (right) and reverse soil clay (left) content

با ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها، میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور مدل‌های کروی بر داده‌های خاک و عملکرد دانه گندم برازش داده شد.

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای نیتروژن خاک نشان داد که الگوهای پراکنش عملکرد دانه تا حد زیادی بر الگوهای تغییر محتوای نیتروژن خاک منطبق بودند.

تطابق مکانی بین این دو متغیر ۷۵/۰ درصد با دامنه تأثیر ۶/۱ متر بود (شکل ۷). با توجه به نقش نیتروژن در عملکرد دانه گندم، پراکنش غیر یکنواخت نیتروژن که ممکن است در اثر آبشویی به‌وسیله بارندگی و آبیاری ایجاد شود، باعث بروز تفاوت‌هایی در سطح مزرعه شود که می‌تواند باعث ناهمگونی عملکرد گیاه در سطح مزرعه شود (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه یولاف انجام شد، نیتروژن خاک همبستگی مکانی مثبتی با عملکرد دانه داشت و الگوهای تغییر محتوای نیتروژن خاک مشابه با تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه یولاف بود (Hausherr Luder *et al*., 2018).

کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بین عملکرد دانه و محتوای پتاسیم خاک در دامنه ۳/۷ متر ۸۳/۲ درصد، همبستگی مکانی بالایی را نشان داد (شکل ۷). با توجه به این موضوع می‌توان گفت در هر نقطه از مزرعه که وضعیت عناصر پرمصرف خاک مطلوب باشد، عملکرد دانه نیز بیشتر خواهد بود. در همین رابطه گزارش شده است که رشد و عملکرد دانه گندم در مزرعه به‌دلیل تغییرپذیری مکانی مواد غذایی خاک، تغییرات مکانی آشکاری دارد (Cui *et al*., 2017). نتایج یک آزمایش دیگر نشان داد که تطابق مکانی بین الگوهای پراکنش عملکرد زیستی گندم با الگوهای پراکنش پتاسیم خاک بالا (۸۶/۹۵ درصد) و در دامنه تأثیر کم ۹/۳ متر بود. همبستگی مکانی عملکرد دانه گندم با محتوای پتاسیم خاک متوسط و در حدود ۳۳/۳۳ درصد در دامنه تأثیر حدود ۲۳ متر بود (Moradi Kalbolandi, 2020). برآورد ضرایب همبستگی صفات نیز نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری (r= ۰/۲۸**) با محتوای پتاسیم خاک داشت (جدول ۵). در همین رابطه، در آزمایشی که با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه ذرت انجام شد، همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه و محتوای پتاسیم خاک وجود داشت (Nyéki *et al*., 2022). در آزمایش دیگری که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه برنج و ویژگی های خاک انجام شد، عملکرد دانه همبستگی مثبت بالایی با محتوای پتاسیم خاک داشت (Liu *et al*., 2014).



شکل ۷- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای نیتروژن خاک (راست) و عملکرد دانه و محتوای پتاسیم خاک (چپ)

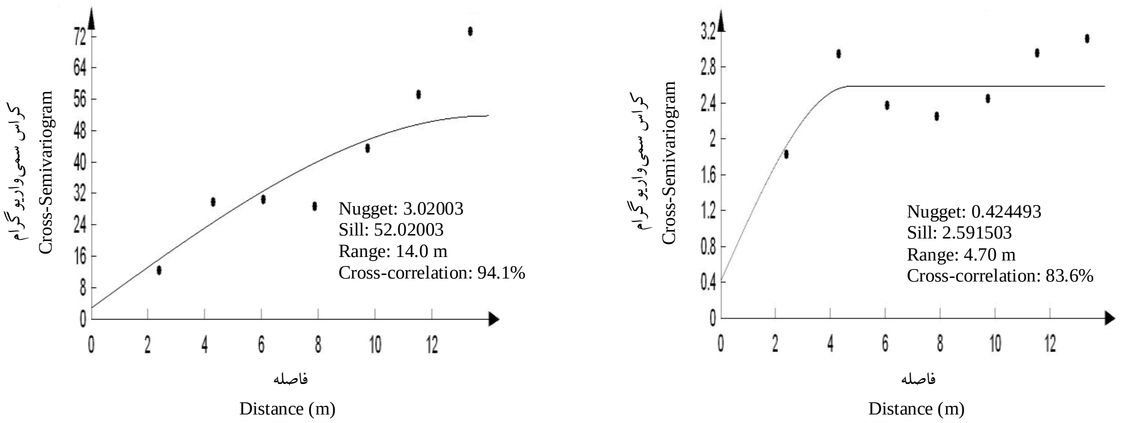
Fig. 7. Spherical cross-semivariogram models between grain yield of wheat and soil nitrogen (right) and soil potassium (left) content

میزان تشابه الگوهای پراکنش عملکرد دانه با الگوهای اسیدیته خاک، بالا (۸۳/۶ درصد) در دامنه تأثیر ۴/۷ متر، توسط مدل کروی کراس واریوگرام بدست آمد (شکل ۸). ضرایب همبستگی اسپیرمن نشان داد که عملکرد دانه گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) با اسیدیته خاک داشت ($r=۰/۴۰^{**}$) (جدول ۵). در همین رابطه در آزمایشی که با هدف ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی های خاک انجام شد، نتایج کراس سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم و یولاف، همبستگی مکانی مثبتی با اسیدیته خاک داشتند (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش دیگری که با هدف بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان زراعی انجام شد، نتایج کراس واریوگرام نشان داد که عملکرد لوبیا چشم بلبلی، همبستگی مکانی متوسط و مثبت با اسیدیته خاک داشت، اما عملکرد دانه ذرت، همبستگی مکانی منفی و بالایی با اسیدیته خاک داشت (Awe *et al*., 2020). پراکنش لکه‌ای اسیدیته خاک می‌تواند بر حلالیت و جذب عناصر غذایی خاک تأثیر گذاشته و جذب آن‌ها را در نقاط مختلف مزرعه بطور متفاوتی تحت تأثیر قرار دهد و باعث ناهمگونی رشد گیاه گندم در مزرعه باشد (Moradi Kalbolandi, 2020).

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام‌های بین عملکرد دانه گندم و محتوای رس خاک نشان داد که الگوهای پراکنش عملکرد دانه به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر محتوای رس خاک منطبق بودند. میزان تطابق مکانی بین این دو متغیر ۹۴/۱ درصد در دامنه تأثیر ۱۴/۰ متر بود (شکل ۸). در آزمایشی که به منظور ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی‌های خاک انجام شد، عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی مثبت و بالایی با محتوای رس خاک داشت (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش دیگری که با هدف ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و اثر آن بر عملکرد دانه ذرت انجام شد، در نقاطی که محتوای رس خاک پایین‌تر بود، عملکرد دانه نیز در همان نقاط روی نقشه‌ها کمتر بود (Nyéki *et al*., 2022). برآورد ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که عملکرد دانه گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۲۸^{**}$) با محتوای رس خاک داشت (جدول ۵). در آزمایشی که با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد سیب‌زمینی انجام شد، عملکرد سیب‌زمینی در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب دارای همبستگی منفی و مثبت با محتوای رس خاک بود (Zhang *et al*., 2023).

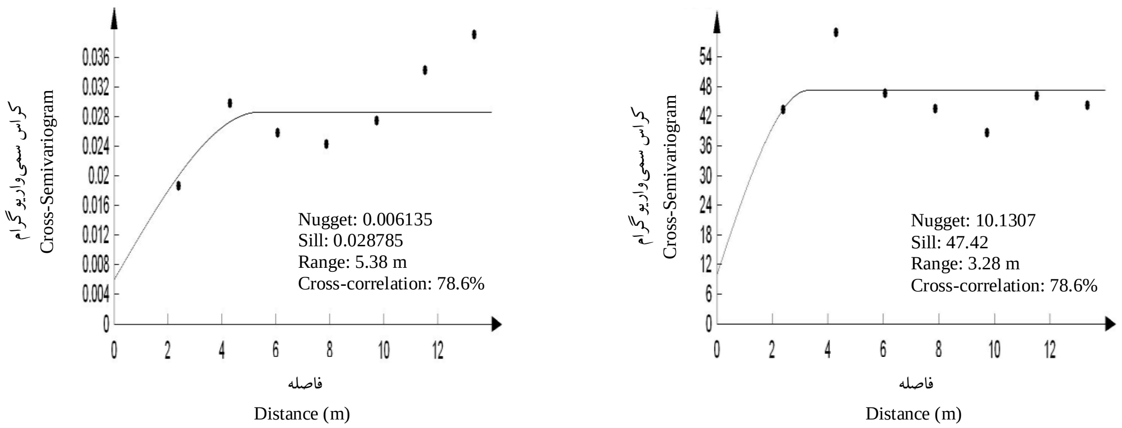
تجزیه کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای سیلت خاک نشان داد که بین الگوهای پراکنش این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد. میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه و محتوای سیلت خاک ۷۸/۶ درصد و در دامنه ۳/۲ متر بود که نشان دهنده ارتباط مکانی بالا بین الگوهای پراکنش عملکرد دانه و محتوای سیلت خاک می‌باشد (شکل ۹). کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بین عملکرد دانه گندم و عکس محتوای شن خاک در دامنه ۵/۳ متر ۷۸/۶ درصد، همبستگی مکانی بالایی داشت، به عبارت دیگر، عملکرد پایین‌تر گندم در نقاطی از مزرعه مشاهده شد که محتوای شن خاک بالاتر بود (شکل ۹).

هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی که با هدف ارزیابی ارتباط مکانی بین عملکرد دانه غلات و ویژگی های خاک انجام شد، عملکرد دانه یولاف، همبستگی مکانی منفی با محتوای شن خاک و همبستگی مکانی مثبت با محتوای سیلت خاک داشت (Lipiec and Usowicz, 2018). در آزمایش دیگری، عملکرد دانه ذرت، همبستگی مکانی منفی و بالایی با محتوای رس و شن خاک داشت، در حالی که عملکرد



شکل ۸- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و اسیدیته خاک (راست) و عملکرد دانه و محتوای رس خاک (چپ)

Fig. 8. Spherical cross-semivariogram models between grain yield of wheat and soil pH (right) and soil clay (left) content



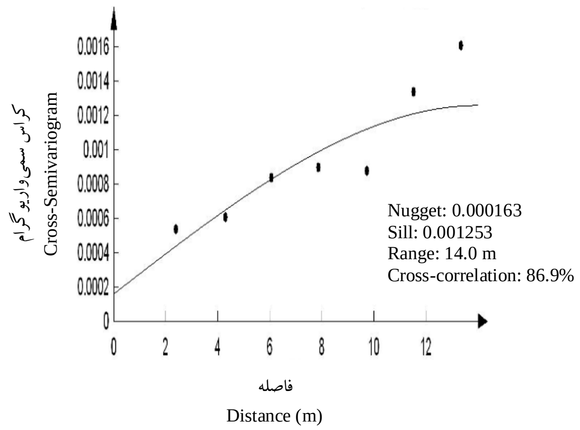
شکل ۹- مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه گندم و محتوای سیلت خاک (راست) و عملکرد دانه و عکس محتوای شن خاک (چپ)

Fig. 9. Spherical cross-semivariogram models between grain yield of wheat and soil silt (right) and reverse soil sand (left) content

دانه همبستگی مکانی مثبت و بالایی با محتوای سیلت خاک داشت (Awe *et al*., 2020). بافت خاک ضمن نقش مستقیم آن در نگهداری رطوبت، با بهبود جذب عناصر غذایی، یکی از عوامل ایجاد کننده تغییرات مکانی رشد و عملکرد دانه گندم محسوب می‌شود (Moradi Kalbolandi, 2020).

با ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها، میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز جودره، مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌های کروی بر داده‌های علف هرز و عملکرد دانه گندم در مزرعه برازش داده شدند. تجزیه کراس سمی‌واریوگرام بین علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم نشان داد که بین

الگوهای پراکنش این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد. میزان همبستگی مکانی بین علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم ۸۶/۹ درصد و در دامنه ۱۴/۰ متر بود که نشان دهنده ارتباط معکوس مکانی بالا بین الگوهای پراکنش جمعیت علف هرز و عملکرد دانه می‌باشد (شکل ۱۰). به عبارت دیگر، نقاط با تراکم بالای علف هرز با نقاط عملکرد دانه پایین گندم، کاملا مطابقت دارند.



شکل ۱۰- مدل کروی کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز جودره و عکس عملکرد دانه گندم

Fig. 10. Spherical cross-semivariogram model between plant density of wild barley density and reverse grain yield of wheat

با مقایسه نقشه‌های پراکنش عملکرد دانه گندم و علف هرز جودره می‌توان دریافت نقاطی از مزرعه که عملکرد دانه گندم بیشتر بود، غالباً منطبق بر نقاطی بود که تراکم علف هرز دارای کمترین مقدار بوده و یا اصلا علف هرز جودره وجود نداشته است (شکل ۴). این موضوع نشان دهنده وجود یک رابطه معکوس بین تراکم علف هرز جودره با عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه است. به نظر می‌رسد که در نقاطی که علف هرز وجود نداشته و یا تراکم آن پایین بوده، فراهمی عناصر غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها بیشتر بوده و باعث افزایش عملکرد دانه گندم در آن نقاط شده است. در همین رابطه، نتایج یک ازمایش نشان داد که الگوهای پراکنش جمعیت علف‌های هرز به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر عملکرد زیستی گندم منطبق بودند و میزان تطابق مکانی بین این دو متغیر ۷۵/۸۹ درصد بود. بین زیست‌توده علف‌های هرز و عکس عملکرد زیستی گندم همبستگی مکانی نسبتا بالایی (۶۲/۵ درصد) وجود داشت (Moradi Kalbolandi, 2020). در آزمایش دیگری که با هدف ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه مربوط به وزن خشک علف‌های هرز و تطبیق آن با نقشه عملکرد دانه عدس نشان داد که در نقاطی که دارای بیشترین مقدار وزن خشک علف‌های هرز بودند، کمترین عملکرد دانه عدس نیز به دست آمد (Zargarian *et al.*, 2020). ضرایب همبستگی اسپیرمن (جدول ۵) نشان داد که عملکرد دانه گندم، همبستگی منفی و معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) با تراکم علف هرز جودره داشت ($r=-۰/۴۲^{**}$). در همین رابطه در آزمایشی که روی زعفران انجام شد، بین تراکم علف‌های هرز در پایان فصل رشد و وزن زیست‌توده زعفران، همبستگی منفی ۰/۰۷۸- تا ۰/۵۲- درصد وجود داشت و افزایش

تراکم علف هرز باعث کاهش عملکرد زیست‌توده زعفران شد (Makarian and Abbasdokht, 2014).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پراکنش علف هرز جودره در مزرعه به صورت طبیعی و یا تصادفی نبود، بلکه پراکنش آن به‌صورت لکه‌هایی با ابعاد و اشکال مختلف بود و در مراکز لکه‌ها تراکم آن بیشتر بود. همبستگی مکانی متوسط و دامنه تأثیر بالای علف هرز جودره نشان دهنده وجود لکه‌های بزرگ آن در مزرعه بود. نتایج کراس سمی‌واریوگرام نشان داد که علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود و در نقاطی که حاوی رس و پتاسیم کمتری بودند، تراکم بیشتری داشت. ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که علف هرز جودره همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای فسفر خاک داشت. کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بر داده‌های عملکرد دانه و ویژگی‌های خاک نشان داد که عملکرد دانه گندم دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، رس، سیلت و اسیدیته خاک بود. عملکرد پایین‌تر دانه گندم غالباً در نقاطی از مزرعه مشاهده شد که محتوای شن بالاتری داشتند. نتایج کراس سمی‌واریوگرام، برآورد ضرایب همبستگی اسپیرمن و مقایسه نقشه‌ها، نشان دهنده رابطه معکوس عملکرد دانه گندم با علف هرز جودره در مزرعه بود. در نقاط با تراکم بالای علف هرز، رقابت بر سر منابع محیطی مشترک باعث کاهش فتوسنتز و کاهش عملکرد گیاه زراعی به صورت لکه‌ای می‌شود. براساس نتایج این تحقیق، علف هرز جودره دارای همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن و فسفر خاک بود، درحالی‌که عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی بالایی با محتوای نیتروژن، پتاسیم، رس، سیلت و اسیدیته خاک داشت، بنابراین در زراعت گندم، مدیریت متناسب با مکان کودی می‌تواند در کنترل علف هرز جودره مؤثر باشد.

منابع مورد استفاده

References

Ali, A., Martelli, R., Lupia, F. and Barbanti, L. 2019. Assessing multiple years' spatial variability of crop yields using satellite vegetation indices. *Remote Sensing*, 11, pp.2384. https://doi.org/10.3390/rs11202384

Alimoradi, L. 2010. Weed community structure in response to crop rotation and soil microclimatic conditions. PhD Dissertation, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].

Awe, G. O., Nurudeen, O. O., Amiola, A. A., Ojeniyi, G. D. and Tutuola, T. B. 2018. Geostatistical evaluation of spatial variability of selected soil physical properties under different crops in Ado Ekiti, Nigeria. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 3(1), pp.1-16. https://doi.org/10.9734/AJSSPN/2018/41181

Awe, G. O., Nurudeen, O. O., Ogunleye, K. S. and Ayodele, A. A. 2020. Geo-multivariate analysis of crop yield and soil properties of student's industrial training farm in Ado Ekiti, Southwest Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(7), pp.903-918. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1767773

Bastiaans, L., Kropff, M. J., Goudriaan, J. and van Laar, H. H. 2000. Design of weed management systems with a reduced reliance on herbicides poses new challenges and prerequisites for modeling crop-weed interactions. *Field Crops Research*, 67, pp.161-179. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00091-5

Calha, I. M., Sousa, E. and Gonzalez-Andujar, J. L. 2014. Infestation maps and spatial stability of main weed

species in maize culture. *Planta Daninha*, 32(2), pp.275-282. https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200004

Cardina, J., Sparrow, D. H. and McCoy, E. L. 1996. Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Science*, 44, pp.298-308. https://doi.org/10.1017/S0043174500093929

Colbach, N., Forcella, F. and Johnson, G. A. 2000. Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science*, 48, pp.366-377. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0366:SATSOW]2.0.CO;2

Cui, B., Huang, W., Song, X., Ye, H. and Dong, Y. 2017. Study the spatial-temporal variation of wheat growth under different site-specific nitrogen fertilization approaches. *In*: Proceedings of the International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture, Jilin, China, 12-15 August 2017; Li, D., Zhao, C. (Eds.), Springer: Beijing, China. pp.316-332. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06137

Gehlot, Y., Aakash, Gallani, R., Jadon, P., Singh, V., Kamle, S., Kamle, R. and Mandloi, S. 2023. Spatial variability of soil macronutrients and chemical properties in Ujjain Tehsil of Ujjain District of Madhya Pradesh, India. *International Journal of Plant and Soil Science*, 35(21), pp.325-335. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i213980

Hausherr Luder, R. M., Qin, R., Richner, W., Stamp, P. and Noulas, C. 2018. Spatial variability of selected soil properties and its impact on the grain yield of oats (*Avena sativa* L.) in small fields. *Journal of Plant Nutrition*, 41(19), pp.2446-2469. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1527935

Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York. USA.

Jamieson, P. D., Porter, J. R. and Wilson, D. R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Fields Crops Research*, 27, pp.337-350. https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3

Jurado-Exposito, M., Lopez-Granados, F., Garcia-Torres, L., Garcia-Ferrer, A., Sanches de La Orden, M. and Atenciano, S. 2003. Multi-species weed spatial variability and sitespecific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science*, 51, pp.319-328. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0319:MWSVAS]2.0.CO;2

Jurado-Expósito, M., de Castro, A. I., Torres‐ Sánchez, J., Jiménez‐ Brenes, F. M. and López‐ Granados, F. 2019. *Papaver rhoeas* L. mapping with cokriging using UAV Imagery. *Precision Agriculture*, 20, pp.1045-1067. https://doi.org/10.1007/s11119-019-09635-z

Jurado-Expósito, M., López-Granados, F., Jiménez-Brenes, F. M. and Torres-Sánchez, J. 2021. Monitoring the spatial variability of knapweed (*Centaurea diluta* Aiton) in wheat crops using geostatistics and UAV imagery: probability maps for risk assessment in site-specific control. *Agronomy*, 11, pp.880. https://doi.org/10.3390/agronomy11050880

Kalivas, D. P., Vlachos, C. E., Economou, G. and Dimou, P. 2012. Regional mapping of perennial weeds in

cotton with the use of geostatistics. *Weed Science*, 60, pp.233-243. https://dx.doi.org/10.1614/WS-D-11-00121.1

Karami, A. and Afzalinia, S. 2018. Relationship between spatial variability pattern of wheat yield and soil properties. *Asian Soil Research Journal*, 1(1), pp.1-14. https://doi.org/10.9734/ASRJ/2018/41463

Lipiec, J. and Usowicz, B. 2018. Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment*, 633, pp.1579-1590. https://doi.org//10.1016/j.scitotenv.2018.03.277

Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., He, P., Lei, Q. and Liang, G. 2014. A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. *Geoderma*, 235-236, pp.39-47. http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.027

Lousada, L. L., Freitas, S. P., Marciano, C. R., Esteves, B. S., Muniz, R. A. and Siqueira, D. P. 2013. Correlation of soil properties with weed ocurrence in sugarcane areas. *Planta Daninha*, 31(4), pp.765-775. https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000400002

Makarian, H. and Hosseini, R. S. 2011. Spatial distribution of weeds and its effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) biomass. *Crop Production*, 3(4), pp.31-47. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.2008739.1389.3.4.3.4

Makarian, H. and Abbasdokht, H. 2014. Effects of different weed management methods on spatial and temporal dynamic of weed populations and saffron above ground biomass. *Journal of Plant Production Research*, 21(2), pp.107-124. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23222050.1393.21.2.6.8

Mohammadi, J. 2002. Spatial variability of soil fertility, wheat yield and weed density in a one hectare field in Shahre Kord. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4, pp.83-92. DOR: 20.1001.1.16807073.2002.4.1.7.7

Moradi Kalbolandi, M. 2020. The study of effective factors on the heterogeneity of spatial distribution of winter wheat yield using geostatistic and remote sensing methods. MSc Thesis in Agroecology, Shahrood University of Technology. [In Persian].

Nyéki, A., Daróczy, B., Kerepesi, C., Neményi, M. and Kovács, A. J. 2022. Spatial variability of soil properties and its effect on maize yields within field—a case study in Hungary. *Agronomy*, 12, pp.395. https://doi.org/10.3390/agronomy12020395

Park, S. E., Benjamin, L. R. and Watkinson, A. R. 2003. The theory and application of plant competition models: an agronomic perspective. *Annals of Botany*, 92, pp.741-748. https://doi.org/10.1093/aob/mcg204

Pätzold, S., Hbirkou, C., Dicke, D., Gerhards, R. and Welp, G. 2020. Linking weed patterns with soil properties: a long‑ term case study. *Precision Agriculture*, 21, pp.569-588. https://doi.org/10.1007/s11119-019-09682-6

Paz, J. O., Batchelor, W. D., Tylka, G. L. and Hartzler, R. G. 2001. A modeling approach to quantifying the effects of spatial soybean yield limiting factors. *Transactions of the ASAE*, 44(5), pp.1329-1344. https://doi.org/10.13031/2013.6423

Sidorova, V. A., Zhukovskii, E. E., Lekomtsev, P. V. and Yakushev, V. V. 2012. Geostatistical analysis of the soil and crop parameters in a field experiment on precision agriculture. *Eurasian Soil Science*, 45(8), pp.783-792. https://doi.org/10.1134/S1064229312080066

Steiner, J. L., Briske, D. D., Brown, D. P. and Rottler, C. M. 2018. Vulnerability of Southern Plains agriculture to climate change. *Climatic Change*, 146, pp.201-218. https://doi.org/10.1007/s10584-017-1965-5

Yasrebi, J., Saffari, M., Fathi, H., Karimian, N., Emadi, M. and Baghernejad, M. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8, pp.1642-1650. https://doi.org/10.3923/jas.2008.1642.1650

Zargarian, N., Bagheri, A. R., Nosrati, I. and Mondani, F. 2020. Evaluation of the effect of spatial distribution of weeds on seed yield of lentil (*Lens culinaris* L.) in rainfed conditions. *Iran Journal of Crop Sciences*, 22(2), pp.140-151. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/abj.22.2.140

Zhang, R. X., Zhang, J. F., Li, T. and Hu, H. 2023. Spatial variability of potato yield based on Fourier transform. *Applied Ecology and Environmental Research*, 21(2), pp.1331-1359. https://dx.doi.org/10.15666/aeer/2102_13311359